



本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

COPY OF PAPERS
ORIGINALLY FILED

#4

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2001年 2月 2日

出願番号

Application Number:

特願 2001-027273

[ST.10/C]:

[J.P 2001-027273]

出願人

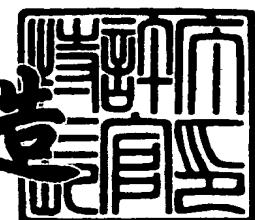
Applicant(s):

日本電信電話株式会社

2002年 3月 22日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特 2002-3019982

【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH126156

【提出日】 平成13年 2月 2日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02F 1/35
H04B 10/00

【発明の名称】 光ファイバ増幅器及びそれを用いた光通信システム

【請求項の数】 29

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 増田 浩次

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 森 淳

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 清水 誠

【特許出願人】

【識別番号】 000004226

【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

【識別番号】 100077481

【弁理士】

【氏名又は名称】 谷 義一

【選任した代理人】

【識別番号】 100088915

【弁理士】

【氏名又は名称】 阿部 和夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013424

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9701393

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバ増幅器及びそれを用いた光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項1】 テルライトファイバと、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、これらのレーザ光源からの励起光を合波する第1の合波器と、該第1の合波器から出射した励起光を信号光と合波する第2の合波器とを有し、前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が125～290カイザーであることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項2】 テルライトファイバと、互いに異なる励起光波長を有する3つ以上のレーザ光源と、これらのレーザ光源からの励起光を合波する第1の合波器と、該第1の合波器から出射した励起光を信号光と合波する第2の合波器とを有し、前記3つ以上のレーザ光源を波長領域が重ならない2つの波長群に分け、それらの重心波長に対応する励起光の波数の差の絶対値が125～290カイザーであることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項3】 テルライトファイバと、シリカファイバと、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する2つの合波器を有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項4】 前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が42～166カイザーであることを特徴とする請求項3に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項5】 前記テルライトファイバが信号光の入射方向に対して前段に設置されていることを特徴とする請求項3又は4に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項6】 テルライトファイバと、シリカファイバと、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第1の合波器と、該第1の合波器から出射した励起光を信号光と合波する第2の合波器とを有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項7】 前記テルライトファイバが信号光の入射方向に対して前段に設置されていることを特徴とする請求項6に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項8】 前記テルライトファイバとシリカファイバの間に、前記異なる

る波長の2つの励起光のうちのいずれか一方を反射する反射素子を有することを特徴とする請求項7に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項9】 前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が42～166カイザーであることを特徴とする請求項6、7又は8に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項10】 複数のテルライトファイバと、複数のシリカファイバを有する光ファイバ増幅器であって、それらのテルライトファイバとシリカファイバが互いに隣接するように配置され、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第1の合波器と、該第1の合波器から出射した励起光を信号光と合波する第2の合波器を有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項11】 前記テルライトファイバが信号光の入射方向に対して最も前段に設置されていることを特徴とする請求項10に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項12】 前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が42～166カイザーであることを特徴とする請求項10又は11に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項13】 前記信号光の出力段に利得等化器を設置したことを特徴とする請求項1又は2に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項14】 2個のテルライトファイバと、それらテルライトファイバの中間に設置した利得等化器と、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項15】 前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が125～290カイザーであることを特徴とする請求項14に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項16】 2個以上のテルライトファイバと、それらテルライトファイバの中間に設置した利得等化器と、互いに異なる励起光波長を有する3つ以上のレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有し、前記3つ以上のレーザ光源を波長領域が重ならない2つの波長群に分け、そ

れらの重心波長に対応する励起光の波数の差の絶対値が125～290カイザーであることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項17】 テルライトファイバと、エルビウム添加ファイバと、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項18】 前記テルライトファイバが信号光の入射方向に対して前段に設置されていることを特徴とする請求項17に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項19】 エルビウム添加ファイバと、そのエルビウム添加ファイバを励起するレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有し、その励起光の波長が1410～1440nmであることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項20】 エルビウム添加ファイバと、そのエルビウム添加ファイバを励起する、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有し、その第1の励起光の波長が1410～1440nmであり、第2の励起光の波長が1450～1500nmであることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項21】 前記エルビウム添加濃度が1000重量ppm以下であることを特徴とする請求項19又は20に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項22】 テルライトファイバと、そのテルライトファイバを励起する第1のレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第1の合波器と、ツリウム添加ファイバと、該ツリウム添加ファイバを励起する第2のレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第2の合波器と、テルライトファイバから出射した信号光をその波長に応じて分波する分波器と、該分波器で分波された後、ツリウム添加ファイバで増幅された信号光と、ツリウム添加ファイバを通過しない別ルートの信号光を合波する第3の合波器を有することを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項23】 前記第1のレーザ光源の励起光波長が1310～1480であることを特徴とする請求項22に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項24】 前記分波器と第3の合波器の間で、ツリウム添加ファイバ

を通過しないルート中に設置したシリカファイバと、該シリカファイバを励起する第3のレーザ光源と、そのレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第4の合波器を有することを特徴とする請求項22又は23に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項25】 前記第3のレーザ光源の励起光波長が1380～1550であることを特徴とする請求項24に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項26】 前記シリカファイバまたはテルライトファイバの少なくとも一方が分散補償ファイバであることを特徴とする請求項1乃至25いずれかに記載の光ファイバ増幅器。

【請求項27】 1個のテルライトファイバと、シリカファイバから成る1区間の伝送線路と、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する2つの合波器を有する1つの中継器を含む伝送線路区間を、少なくとも1区間以上有することを特徴とする光通信システム。

【請求項28】 前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が42～166カイザーであることを特徴とする請求項27に記載の光通信システム。

【請求項29】 前記テルライトファイバが分散補償ファイバであることを特徴とする請求項27又は28に記載の光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光ファイバ増幅器及びそれを用いた光通信システムに関する。

【0002】

【従来の技術】

波長多重の光ファイバ通信システム(WDMシステム)で用いられる、従来技術のラマン増幅器の構成を図1に示す。このラマン増幅器については、H.Masuda et al., Tech. Dig. of ECOC, pp. 139-140, 1998, あるいは特願平11-288337号に記載されている。この光増幅器は、入力した波長多重の信号光を増

幅している。このラマン増幅器は、利得媒質である光ファイバ51と、それを光励起する励起光源53と、その励起光源からの励起光と信号光を合波する合波器52を有する。光ファイバは、おもに高開口数（NA）のシリカファイバまたはテルライトファイバである。ただし、通常光ファイバの前後に設置するアイソレータなどの自明な光部品は、簡単のため図1において省略してある。

【0003】

図1では、より多くの場合に採用される、信号光と励起光の伝搬方向が逆となる配置、すなわち後方向励起で励起しているが、前方向励起であっても以下に述べることが同様に成り立つ。励起光源からの励起光の波長は、単数でも複数でもよい。ただし、複数波長励起のほうが一般に広帯域である。单一波長励起における平坦利得帯域は、シリカファイバを用いたラマン増幅器（以下、シリカラマン増幅器という）で高々20nm、テルライトファイバを用いたラマン増幅器（以下、テルライトラマン増幅器という）で高々30nmであった。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

このような従来例では、シリカラマン増幅器では、10数波長までの多波長励起を用いて利得スペクトル平坦化・広帯域化を行って100nmまでの平坦利得帯域を得ている（Y.Emori et al., Proc. of OFC, PD19, 1998）。この帯域はシリカファイバの物理特性により制限されている。また、テルライトラマン増幅器では、利得ピーク波長付近で複数励起光波長により広帯域化を行っているが、その広帯域化は利得ピーク波長付近の60nm程度に限られている。このように、従来例では利得帯域が制限されているという欠点が生じている。

【0005】

テルライトラマン増幅器の利得係数スペクトルを図2（a）に示す。合わせてシリカライト増幅器の利得係数スペクトルを図2（b）に示す。ここで、横軸は信号光波長と励起光波長の差を表す。ラマン増幅器の利得（ $\circ n - \circ f f$ 利得）のdB単位値は、一定の励起光パワーにおいて、その利得係数に比例する。また、その利得は励起光パワーに比例する。図2（a）の利得係数スペクトルを見ると、170nmおよび90nm付近にピークがあり、波長差=120nm付近に

くぼみがある。一方、従来技術において良く知られたシリカラマン増幅器の利得係数スペクトルは、100 nm付近に単一のピークを有する。

【0006】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、複数の利得スペクトルを組み合わせて重ね合わせることにより、広帯域で平坦な利得スペクトルを実現するようにした光ファイバ増幅器及びそれを用いた光通信システムを提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明は、このような目的を達成するために、以下の4種類の構成を備えている。第1の種類は、テルライトファイバを2波長で励起し、その励起光の波長がある一定量だけ異なるラマン増幅器であることを主な特徴とするものである。また、第2の種類は、テルライトファイバとシリカファイバを用いたラマン増幅器または光通信システムであることを主な特徴とするものである。第3の種類は、低濃度のエルビウム添加テルライトファイバと用いた光ファイバ増幅器であることを主な特徴とするものである。さらに、第4の種類は、エルビウム添加ファイバ等の希土類添加ファイバとテルライトファイバを用いた光ファイバ増幅器であることを主な特徴とするものである。

【0008】

請求項1に記載の発明は、テルライトファイバと、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、これらのレーザ光源からの励起光を合波する第1の合波器と、該第1の合波器から出射した励起光を信号光と合波する第2の合波器とを有し、前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が125～290カイザーであることを特徴とするもので、図3に示した第1の実施例に対応するものである。

【0009】

請求項2に記載の発明は、テルライトファイバと、互いに異なる励起光波長を有する3つ以上のレーザ光源と、これらのレーザ光源からの励起光を合波する第1の合波器と、該第1の合波器から出射した励起光を信号光と合波する第2の合

波器とを有し、前記3つ以上のレーザ光源を波長領域が重ならない2つの波長群に分け、それらの重心波長に対応する励起光の波数の差の絶対値が125～290カイザーであることを特徴とするもので、図3に示した第1の実施例に対応するものである。

【0010】

請求項3に記載の発明は、テルライトファイバと、シリカファイバと、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する2つの合波器を有することを特徴とするもので、図4に示した第2の実施例に対応するものである。

【0011】

請求項4に記載の発明は、請求項3に記載の発明において、前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が42～166カイザーであることを特徴とするもので、図4に示した第2の実施例に対応するものである。

【0012】

請求項5に記載の発明は、請求項3又は4に記載の発明において、前記テルライトファイバが信号光の入射方向に対して前段に設置されていることを特徴とするもので、図4に示した第2の実施例に対応するものである。

【0013】

請求項6に記載の発明は、テルライトファイバと、シリカファイバと、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第1の合波器と、該第1の合波器から出射した励起光を信号光と合波する第2の合波器とを有することを特徴とするもので、図7に示した第4の実施例に対応するものである。

【0014】

請求項7に記載の発明は、請求項6に記載の発明において、前記テルライトファイバが信号光の入射方向に対して前段に設置されていることを特徴とするもので、図7に示した第4の実施例に対応するものである。

【0015】

請求項8に記載の発明は、請求項7に記載の発明において、前記テルライトフ

アイバシリカファイバの間に、前記異なる波長の2つの励起光のうちのいずれか一方を反射する反射素子を有することを特徴とするもので、図6に示した第3の実施例に対応するものである。

【0016】

請求項9に記載の発明は、請求項6、7又は8に記載の発明において、前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が42~166カイザーであることを特徴とするものである。

【0017】

請求項10に記載の発明は、複数のテルライトファイバと、複数のシリカファイバを有する光ファイバ増幅器であって、それらのテルライトファイバシリカファイバが互いに隣接するように配置され、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第1の合波器と、該第1の合波器から出射した励起光を信号光と合波する第2の合波器を有することを特徴とするもので、図8に示した第5の実施例に対応するものである。

【0018】

請求項11に記載の発明は、請求項10に記載の発明において、前記テルライトファイバが信号光の入射方向に対して最も前段に設置されていることを特徴とするもので、図8に示した第5の実施例に対応するものである。

【0019】

請求項12に記載の発明は、請求項10又は11に記載の発明において、前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が42~166カイザーであることを特徴とするものである。

【0020】

請求項13に記載の発明は、請求項1又は2に記載の発明において、前記信号光の出力段に利得等化器を設置したことを特徴とするものである。

【0021】

請求項14に記載の発明は、2個のテルライトファイバと、それらテルライトファイバの中間に設置した利得等化器と、互いに異なる励起光波長を有する2つ

のレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有することを特徴とするもので、図10に示した第7の実施例に対応するものである。

【0022】

請求項15に記載の発明は、請求項14に記載の発明において、前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が125～290カイザーであることを特徴とするもので、図10に示した第7の実施例に対応するものである。

【0023】

請求項16に記載の発明は、2個以上のテルライトファイバと、それらテルライトファイバの中間に設置した利得等化器と、互いに異なる励起光波長を有する3つ以上のレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有し、前記3つ以上のレーザ光源を波長領域が重ならない2つの波長群に分け、それらの重心波長に対応する励起光の波数の差の絶対値が125～290カイザーであることを特徴とするもので、図10に示した第7の実施例に対応するものである。

【0024】

請求項17に記載の発明は、テルライトファイバと、エルビウム添加ファイバと、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有することを特徴とするもので、図11に示した第8の実施例に対応するものである。

【0025】

請求項18に記載の発明は、請求項17に記載の発明において、前記テルライトファイバが信号光の入射方向に対して前段に設置されていることを特徴とするもので、図11に示した第8の実施例に対応するものである。

【0026】

請求項19に記載の発明は、エルビウム添加ファイバと、そのエルビウム添加ファイバを励起するレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有し、その励起光の波長が1410～1440nmであることを特徴とするもので、図12に示した第9の実施例に対応するものである。

【0027】

請求項20に記載の発明は、エルビウム添加ファイバと、そのエルビウム添加ファイバを励起する、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する合波器を有し、その第1の励起光の波長が1410～1440nmであり、第2の励起光の波長が1450～1500nmであることを特徴とするもので、図12に示した第9の実施例に対応するものである。

【0028】

請求項21に記載の発明は、請求項19又は20に記載の発明において、前記エルビウム添加濃度が1000重量ppm以下であることを特徴とするもので、図12に示した第9の実施例に対応するものである。

【0029】

請求項22に記載の発明は、テルライトファイバと、そのテルライトファイバを励起する第1のレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第1の合波器と、ツリウム添加ファイバと、該ツリウム添加ファイバを励起する第2のレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第2の合波器と、テルライトファイバから出射した信号光をその波長に応じて分波する分波器と、該分波器で分波された後、ツリウム添加ファイバで増幅された信号光と、ツリウム添加ファイバを通過しない別ルートの信号光を合波する第3の合波器を有することを特徴とするもので、図13に示した第10の実施例に対応するものである。

【0030】

請求項23に記載の発明は、請求項22に記載の発明において、前記第1のレーザ光源の励起光波長が1310～1480であることを特徴とするもので、図13に示した第10の実施例に対応するものである。

【0031】

請求項24に記載の発明は、請求項22又は23に記載の発明において、前記分波器と第3の合波器の間で、ツリウム添加ファイバを通過しないルート中に設置したシリカファイバと、該シリカファイバを励起する第3のレーザ光源と、そ

のレーザ光源からの励起光を信号光と合波する第4の合波器を有することを特徴とするもので、図14に示した第11の実施例に対応するものである。

【0032】

請求項25に記載の発明は、請求項24に記載の発明において、前記第3のレーザ光源の励起光波長が1380～1550であることを特徴とするものである。

【0033】

請求項26に記載の発明は、請求項1乃至25いずれかに記載の発明において、前記シリカファイバまたはテルライトファイバの少なくとも一方が分散補償ファイバであることを特徴とするものである。

【0034】

請求項27に記載の発明は、1個のテルライトファイバと、シリカファイバから成る1区間の伝送線路と、互いに異なる励起光波長を有する2つのレーザ光源と、それらレーザ光源からの励起光を信号光と合波する2つの合波器を有する1つの中継器を含む伝送線路区間を、少なくとも1区間以上有することを特徴とするもので、図9に示した第6の実施例に対応するものである。

【0035】

請求項28に記載の発明は、請求項27に記載の発明において、前記2つのレーザ光源からの励起光の波数の差の絶対値が42～166カイザーであることを特徴とするもので、図9に示した第6の実施例に対応するものである。

【0036】

請求項29に記載の発明は、請求項27又は28に記載の発明において、前記テルライトファイバが分散補償ファイバであることを特徴とするものである。

【0037】

このような構成のように、複数波長の励起光と複数種の光ファイバ増幅媒体とを次の4種類、つまり、1) テルライトファイバを2波長で励起する、2) テルライトファイバとシリカファイバをそれぞれ異なる波長で励起する、3) E_r を低濃度に添加したテルライトファイバを1つ又は2つの波長で励起する、4) テルライトファイバと T_m 添加ファイバを異なる波長で励起する、を組合わせるこ

とのより光ファイバ増幅器を構成したので、異なる利得スペクトルの合成により利得帯域幅が拡大されるという効果を奏する。また、従来技術のラマン増幅器で問題であった利得帯域が制限されているという欠点を解決することができる。

【0038】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施例について説明する。

【第1実施例】

図3は、本発明の第1実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、利得媒質である光ファイバはテルライトファイバ1である。励起光源3は2つのレーザモジュール5a, 5bと1つの合波器4を有する。そのレーザモジュール5a, 5bは半導体レーザモジュール(LDM)またはラマンレーザなどであるが、特に、LDMは小型・高信頼・長寿命である等の理由により実用的であるので、本実施例を含む以下の実施例ではレーザモジュールがLDMを示す。ただし、明らかにLDM以外のレーザモジュールを用いても同じ効果がある。2つのLDM5a, 5bをLDM-1および-2とし、それらの励起光波長をそれぞれ λ_1 および λ_2 とする。

【0039】

図2(a)に示した利得係数スペクトルより、 λ_1 および λ_2 の差を約50nmに設定すると、 λ_1 の励起光による利得スペクトル成分と、 λ_2 の励起光による利得スペクトル成分を合成することにより、利得ピークとくぼみの合成により、平坦化された利得スペクトルが得られる。

【0040】

図4(a)は、 $\lambda_1 = 1460\text{ nm}$ および $\lambda_2 = 1410\text{ nm}$ としたときの利得(dB単位の相対値)スペクトルを示した図で、約1500nm-約1650nmの約150nmの範囲(平坦利得帯域)で平坦化された利得スペクトルが得られている。一方、従来技術では、平坦利得帯域は約60nmであったから、平坦利得帯域が顕著に拡大している。図4(b)は、 $\lambda_1 = 1460\text{ nm}$ および $\lambda_2 = 1420\text{ nm}$ としたときの利得(dB単位の相対値)スペクトルを示した図で、やはり約1500nm-約1650nmの約150nmの範囲(平坦利得帯

域)で平坦化された利得スペクトルが得られている。

【0041】

同様にして、平坦利得帯域の拡大が達成できる励起光波長は、 λ_1 および λ_2 の差を30nm-70nmとしたときである。また、その波長差に対応した2つの励起光の波数差は約 $125 - 290\text{ cm}^{-1}$ (カイザー)である。

【0042】

ただし、励起光波長数は必ずしも2である必要はなく、3以上であっても、実質的に上記と同じ励起波長配置とみなされるものであればよい。例えば、励起光波長およびパワーが、それぞれ、1460nm, 20mW; 1450nm, 50mW; 1410nm, 200mW; 1400nm, 50mW、のようにあきらかに4波長であっても、1460nm, 200mW; 1450nm, 50mWの2波長の波長重心(1460nmに近い波長)と、1410nm, 200mW; 1400nm, 50mWの2波長の波長重心(1410nmに近い波長)は50nm離れているので、上述した第1の2波長励起の構成と等価である。

【0043】

これを定量的に述べると、第1の波長群を $\lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{13}, \dots$ 、第2の波長群を $\lambda_{21}, \lambda_{22}, \lambda_{23}, \dots$ ($\lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{13}, \dots > \lambda_{21}, \lambda_{22}, \lambda_{23}, \dots$)、第1の波長群の重心波長を λ_{1c} 、第2の波長群の重心波長を λ_{2c} としたとき、 λ_{1c} および λ_{2c} の差が30nm-70nmであればよい。また、重心波長 λ_c の定義は、n波長($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$)の波長群のパワーがそれぞれ $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ のとき

$$\lambda_c = (\lambda_1 P_1 + \lambda_2 P_2 + \lambda_3 P_3 + \dots + \lambda_n P_n) / (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n)$$

である。

【0044】

〔第2実施例〕

図5は、本発明の第2実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、利得媒質である光ファイバはテルライトファイバ1およびシリカファイバ11である。そのシリカファイバの最適なファイバパラメータは、高速(例えば10Gb/s)

) の光通信システムで用いられる分散補償ファイバ (DCF) に類似しているため、そのDCFを兼用できる。また、同様にテルライトファイバ1を分散補償ファイバとして兼用することもできる。テルライトファイバ1とシリカファイバ1は、それぞれ異なる波長の励起光源5a, 5b (LDL-1およびLDL-2) で励起されている。LDL-1およびLDL-2の励起光波長はそれぞれ λ_1 および λ_2 である。なお、符号2a, 2bは合波器である。

【0045】

図2のテルライトラマン増幅器およびシリカラマン増幅器の利得係数スペクトルを考慮して、 λ_1 および λ_2 の差が、 $\lambda_2 - \lambda_1 = 25 \pm 15 \text{ nm}$ 、すなわち、 $10 \text{ nm} < \lambda_2 - \lambda_1 < 40 \text{ nm}$ 、であるようにする。また、その波長差に対応した2つの励起光の波数差は約 $42 - 166 \text{ cm}^{-1}$ (カイザー) である。このとき、テルライトラマン増幅器の利得スペクトルの窪みをシリカラマン増幅器の山が補償するため、広い波長域で平坦なスペクトルが得られる。数値例としては、 $\lambda_1 = 1450 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 1475 \text{ nm}$ 、である。このとき、波長域 $1460 \sim 1620 \text{ nm}$ で平坦なスペクトルが得られる。

【0046】

また、雑音指数の大小が問題にならない場合には、テルライトファイバとシリカファイバの順番は任意でよい。しかし、そうでない場合には、一般にテルライトファイバを前段に配置した方が雑音指数が低い。これは、テルライトファイバにおけるラマン利得は上記波長域 $1460 \sim 1620 \text{ nm}$ である程度の値を有するが、シリカファイバにおけるラマン利得は $\lambda_2 + 130 \text{ nm}$ 程度に限られるためである。その結果、シリカファイバを前段に配置した場合、約 $\lambda_2 + 130 \text{ nm}$ より長波長域で、シリカファイバの損失による雑音指数の劣化 (増加) が生じる。

【0047】

【第3実施例】

図6は、本発明の第3実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、第2実施例と類似した実施例であるが、以下の点がおもに異なる。ただし、同じ点は簡単のため省略する。第2実施例では励起光源を2箇所に配置したが、本第3実施例で

は1箇所に励起光源3として配置し、2波長の励起光を合波器4で合波している。波長配置は第2実施例と同じである。励起光源からの2波長の励起光は、まずシリカファイバ11を励起した後、シリカファイバ11で損失を受けなかった分がシリカファイバ11から出射する。

【0048】

波長 λ_2 の励起光はシリカファイバ11のみを励起するように、シリカファイバ11の励起光伝搬方向に対して後段に、波長 λ_2 の励起光のみを反射する反射素子であるファイバグレーティング12を設置している。シリカファイバ11を出射した波長 λ_2 の励起光はファイバグレーティング12で高反射率で反射され、再びシリカファイバ11に入射してシリカファイバ11を励起する。一方、波長 λ_1 の励起光はシリカファイバ11で励起し、シリカファイバ11で損失を受けた後、テルライトファイバ1を励起する。

【0049】

図2のテルライトラマン増幅器およびシリカラマン増幅器の利得係数スペクトルを考慮して、 λ_1 および λ_2 の差が、 $\lambda_2 - \lambda_1 = 25 \pm 15 \text{ nm}$ 、すなわち、 $40 \text{ nm} > \lambda_2 - \lambda_1 > 10 \text{ nm}$ 、であるようにする。このとき、テルライトラマン増幅器の利得スペクトルの窪みをシリカラマン増幅器の山が補償するため、広い波長域で平坦なスペクトルが得られる。数値例としては、 $\lambda_1 = 1450 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 1475 \text{ nm}$ 、である。このとき、波長域 $1460 \sim 1620 \text{ nm}$ で平坦なスペクトルが得られる。また、シリカファイバとテルライトファイバの位置を図6と逆にし、ファイバグレーティングの中心波長を λ_1 としても同様の効果がある。

【0050】

[第4実施例]

図7は、本発明の第4実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、第3実施例と類似した実施例であるが、以下の点がおもに異なる。第3実施例では励起光用の反射素子であるファイバグレーティングを設置しているが、本第4実施例では用いていない。したがって、シリカファイバ11を出射した2波長の励起光はともにテルライトファイバ1に入射し、それを励起する。

【0051】

図2のテルライトラマン増幅器およびシリカラマン増幅器の利得係数スペクトルを考慮して、 λ_1 および λ_2 の差が、 $\lambda_2 - \lambda_1 = 25 \pm 15 \text{ nm}$ 、すなわち、 $40 \text{ nm} > \lambda_2 - \lambda_1 > 10 \text{ nm}$ 、であるようにする。このとき、テルライトラマン増幅器の利得スペクトルの窪みをシリカラマン増幅器の山が補償するため、広い波長域で平坦なスペクトルが得られる。数値例としては、 $\lambda_1 = 1450 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 1475 \text{ nm}$ 、である。このとき、波長域 $1460 \sim 1620 \text{ nm}$ で平坦なスペクトルが得られる。

【0052】

[第5実施例]

図8は、本発明の第5実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、第4実施例と類似した実施例であるが、以下の点がおもに異なる。第4実施例では、シリカファイバおよびテルライトファイバを1個ずつ用いているが、本第5実施例では、複数個ずつ用いている。図8は2個ずつ用いた例であるが、個数は任意の個数でよい。

【0053】

上述したように、複数個ずつのファイバを用いる理由は以下の通りである。すなわち、第4実施例においてはテルライトファイバにおける利得スペクトル窪み付近の波長における利得が小さい場合には、テルライトファイバの損失により、雑音指数が劣化する。一方、本実施例の構成では、テルライトファイバ1a, 1bとシリカファイバ11a, 11bを小刻みに配置しているため、その利得スペクトル窪みが小さくなり、雑音指数の劣化を低減できる。

【0054】

[第6実施例]

図9は、本発明の第6実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、第2実施例と類似した実施例であるが、以下の点がおもに異なる。第2実施例では、シリカファイバは伝送線路の外部（線形中継器14内や前置増幅器内など）に設置されたものであるが、本実施例では、シリカファイバ13a, 13bは伝送線路そのものを用いている。その伝送線路であるシリカファイバ13a, 13bは、一般

に低損失係数を有する分散シフトファイバ（D S F）や $1.3\mu\text{m}$ シングルモードファイバなどである。伝送線路中でラマン増幅を分布的に行うため、分布増幅による信号対雑音比の向上が、分布利得が大きい波長域で生じる。

【0055】

したがって、テルライトファイバ1における利得スペクトル窪み付近の波長における雑音指数劣化の抑圧が容易かつ顕著に行なえる。また、分布利得が大きい波長域で、特に大きな光信号対雑音比が得られた場合には、その波長域を伝送線路のゼロ分散波長に設定できるという利点がある。

【0056】

図2のテルライトラマン増幅器およびシリカラマン増幅器の利得係数スペクトルを考慮して、 λ_1 および λ_2 の差が、 $\lambda_2 - \lambda_1 = 2.5 \pm 1.5\text{ nm}$ 、すなわち、 $4.0\text{ nm} > \lambda_2 - \lambda_1 > 1.0\text{ nm}$ 、であるようにする。このとき、テルライトラマン増幅器の利得スペクトルの窪みをシリカラマン増幅器の山が補償するため、広い波長域で平坦なスペクトルが得られる。

【0057】

数値例としては、 $\lambda_1 = 1450\text{ nm}$, $\lambda_2 = 1475\text{ nm}$ 、である。このとき、波長域 $1460 \sim 1620\text{ nm}$ で平坦なスペクトルが得られる。また、別の数値例としては、伝送線路のシリカファイバとしてD S Fを用いた場合、 $\lambda_1 = 1420\text{ nm}$, $\lambda_2 = 1445\text{ nm}$ 、である。このとき、波長域 $1430 \sim 1590\text{ nm}$ で平坦なスペクトルが得られる。さらに、ゼロ分散波長 1550 nm 附近において高い光信号対雑音比が得られ、非線形効果による伝送品質の劣化の抑圧が行なえる。

【0058】

[第7実施例]

図10は、本発明の第7実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、第1実施例と類似した実施例であるが、以下の点がおもに異なる。第1実施例はテルライトファイバを1個用いた1段増幅構成を用いているが、本第7実施例はテルライトファイバ1a, 1bを2個用い、それらの中間に利得等化器15を用いた2段増幅構成を用いている。利得等化器15を前記中間位置に設置するのは、ラマン

増幅器の出力パワーを高く保つためである。ただし、前記出力パワーを高く保つ必要がない場合には、利得等化器15をラマン増幅器の後段に設置してよい。明らかにそのときの配置は、第1実施例のラマン増幅器の後段に前記利得等化器15を配置したものであり、テルライトファイバの個数は2個である。

【0059】

利得等化器の透過損失スペクトル特性は、例えば、図4の利得スペクトルを考慮して決定される。例えば、図4(a)の利得スペクトルに対しては、透過損失スペクトルのピーク波長が約1560nm、透過損失スペクトルの半値幅が約20nmのガウス型形状の透過損失スペクトルを有する利得等化器により、約1500-1650nmの波長域において大まかな利得等化を簡単に行なえる。

【0060】

また、本実施例では、ラマン増幅器の構成が簡易であり、かつ価格が低廉であるように、1個の励起光源からの励起光を分波器16を用いて分波し、前記2個のテルライトファイバ1a, 1bに分配している。

【0061】

[第8実施例]

図11は、本発明の第8実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、本ラマン増幅器は、テルライトファイバ1、エルビウム(Er)添加ファイバ21、2個の励起光源5a, 5b(LDM-1, LDM-2)、および2個の合波器2, 6を有する。LDM-1の励起光波長は約1430nm、LDM-2の励起光波長は約1480nmである。Er添加ファイバの種類は、Er添加テルライトファイバ、Er添加フッ化物ファイバ、Er添加シリカファイバなどである。Er添加ファイバの利得は大まかに捉えて1530~1570nmにスペクトルの山がある。一方、約1430nmの励起光で励起されたテルライトファイバは、図2(a)より、1530~1570nmに利得スペクトルの窪みを有する。したがって、本実施例の構成により、約1520~1600nmの波長域において平坦な利得スペクトルが得られる。

【0062】

[第9実施例]

図12は、本発明の第9実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、本ラマン増幅器は、その利得スペクトル特性は前記第8実施例と類似しているが、下記の構成がおもに異なる。すなわち、本ラマン増幅器は、低濃度にE_rを添加したテルライトファイバ41（低濃度E_r添加テルライトファイバ）、励起光源5（LD）および合波器2を有する。励起光波長は約1430nmである。前記低濃度E_r添加テルライトファイバは、E_rイオンの利得と、ラマン利得と同じに有する。ただし、E_rイオンは約1430nmの励起光で励起可能であり、第8実施例とは若干異なるが、やはり、その利得は大まかに捉えて1530～1570nmにスペクトルの山がある。したがって、本実施例の構成により、第8実施例と同様に、約1520～1600nmの波長域において平坦な利得スペクトルが得られる。

【0063】

[第10実施例]

図13は、本発明の第10実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、本ラマン増幅器は、前記第8実施例と類似しているが、下記の点がおもに異なる。すなわち、本ラマン増幅器では、ラマン増幅器と組み合わせる希土類添加ファイバとしてツリウム（Tm）添加フッ化物ファイバ31を用いている。テルライトファイバ1の励起波長は1450nm、Tm添加フッ化物ファイバ31の励起波長は1400nmである。Tm添加フッ化物ファイバの利得波長域は約1460～1510nmであり、その長波長側では、上位準位吸収により損失が生じる。そこで、分波器16と合波器4を用いて、約1460～1510nmの信号光と約1515～1620nmの信号光を分離する。そして、約1515～1620nmの信号光の通過ルートに対して、分波器と合波器は損失の無視できる光ファイバで結合されている。ただし、1510～1515nmの波長域は分波器および合波器のデッドバンドである。

【0064】

図2(a)のスペクトルおよび既知のTm添加フッ化物ファイバの利得スペクトルから、本ラマン増幅器の利得スペクトルは、大まかに言って、約1460～1620nmの波長域において平坦な利得スペクトルを有する。

【0065】

【第11実施例】

図14は、本発明の第11実施例のラマン増幅器の構成を示した図で、本ラマン増幅器は、前記第13実施例と類似しているが、下記の点がおもに異なる。すなわち、本ラマン増幅器では、そして、約1515～1620nmの信号光の通過ルートに対して、分波器16と合波器4の間にラマン増幅の利得媒質であるシリカファイバ(DCF)11を設置している。そのシリカファイバ11は励起光源5c(LDM-3)1480nmの励起光で励起されている。なお、符号5cは励起光源(LDM-3)である。したがって、本ラマン増幅器の初段のテルライトファイバ1の利得の窪みが、前記第2実施例と同様の機構により平坦化される。その結果、第13実施例よりも平坦な利得スペクトルが約1460～1620nmの波長域において得られる。

【0066】

なお、テルライトファイバを2波長で励起して平坦利得域の拡大が達成できるのは、前述のように、励起光波長の差を30nm～70nmとしたときであるが、この波長差としては35nm～60nmの範囲がより好適で、40nm～50nmの範囲であれば最も望ましい。

【0067】

また、テルライトファイバとシリカファイバをそれぞれ異なる波長 λ_1 、 λ_2 で励起して平坦利得域の拡大が達成できるのは、前述のように、波長差 $\lambda_2 - \lambda_1$ を10nm～40nmとしたときであるが、この波長差としては15nm～35nmの範囲がより好適で、20nm～30nmの範囲であれば最も望ましい。

【0068】

【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば、光信号増幅の利得スペクトルが増幅媒体によって異なることに着目して、複数波長の励起光と複数種の光ファイバ増幅媒体とを次の4種類、つまり、1) テルライトファイバを2波長で励起する、2) テルライトファイバとシリカファイバをそれぞれ異なる波長で励起する、3) Erを低濃度に添加したテルライトファイバを1つ又は2つの波長で励起する、4

) テルライトファイバとTm添加ファイバを異なる波長で励起する、を組合わせることにより光ファイバ増幅器を構成したので、異なる利得スペクトルの合成により利得帯域幅が拡大されるという効果を奏する。また、従来技術のラマン増幅器で問題であった利得帯域が制限されているという欠点を解決することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

従来技術のラマン増幅器の構成を示す図である。

【図2】

ラマン増幅器の利得係数スペクトルを示す図で、(a)はテルライトラマン増幅器の利得係数スペクトルを、(b)はシリカライト増幅器の利得係数スペクトルをそれぞれ示す図である。

【図3】

本発明の第1実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図4】

テルライトラマン増幅器の利得係数スペクトルを示す図で、(a)は、 $\lambda_1 = 1460\text{nm}$ および $\lambda_1 = 1410\text{nm}$ としたときの利得(dB単位の相対値)スペクトルを、(b)は、 $\lambda_1 = 1460\text{nm}$ および $\lambda_1 = 1420\text{nm}$ としたときの利得(dB単位の相対値)スペクトルをそれぞれ示した図である。

【図5】

本発明の第2実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図6】

本発明の第3実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図7】

本発明の第4実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図8】

本発明の第5実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図9】

本発明の第6実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図10】

本発明の第7実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図11】

本発明の第8実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図12】

本発明の第9実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

【図13】

本発明の第10実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

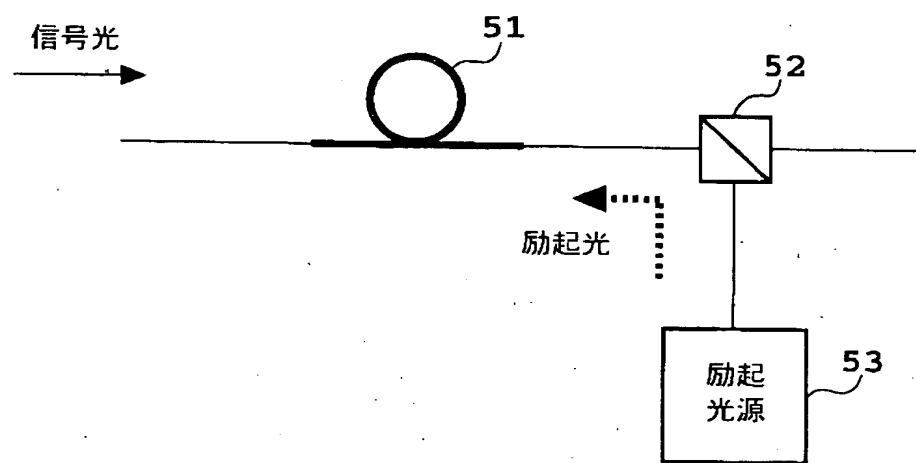
【図14】

図14は、本発明の第11実施例のラマン増幅器の構成を示した図である。

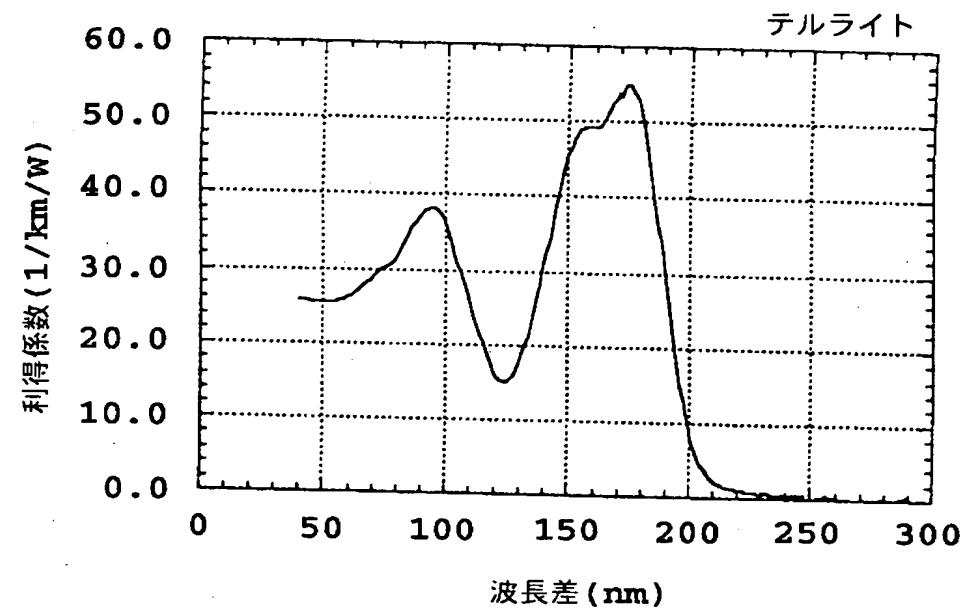
【符号の説明】

- 1, 1a, 1b テルライトファイバ
- 2, 2a, 2b, 2c, 4, 6 合波器
- 3 励起光源
- 5a, 5b, 5c 半導体レーザモジュール（LDM）
- 11, 11a, 11b シリカファイバ
- 12 ファイバグレーティング
- 13a, 13b 伝送線路シリカファイバ
- 14 線形中継器
- 15 利得等価器
- 16 分波器
- 21 Er 添加ファイバ
- 31 Tm添加フッ化物ファイバ
- 51 光ファイバ
- 52 合波器
- 53 励起光源

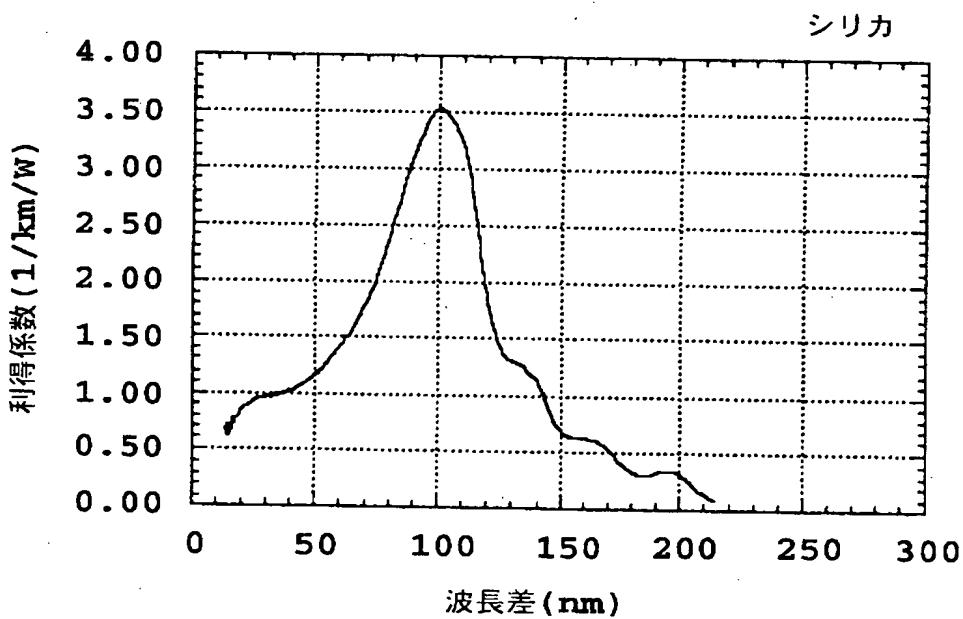
【書類名】 図面
【図1】



【図2】

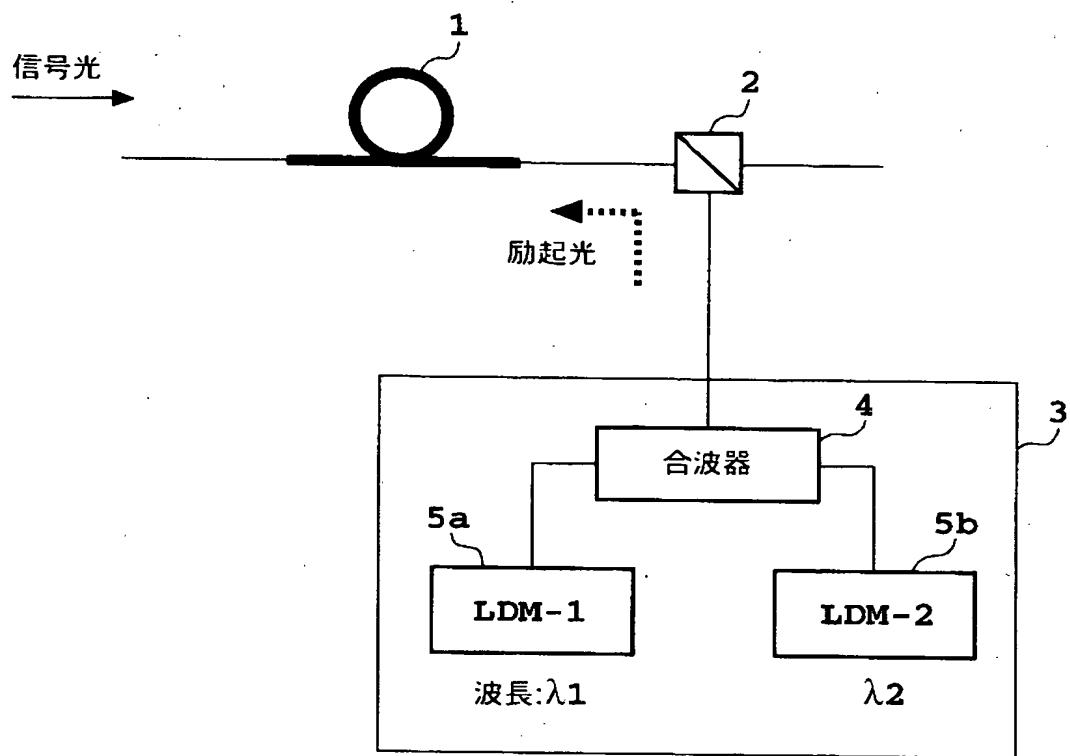


(a)

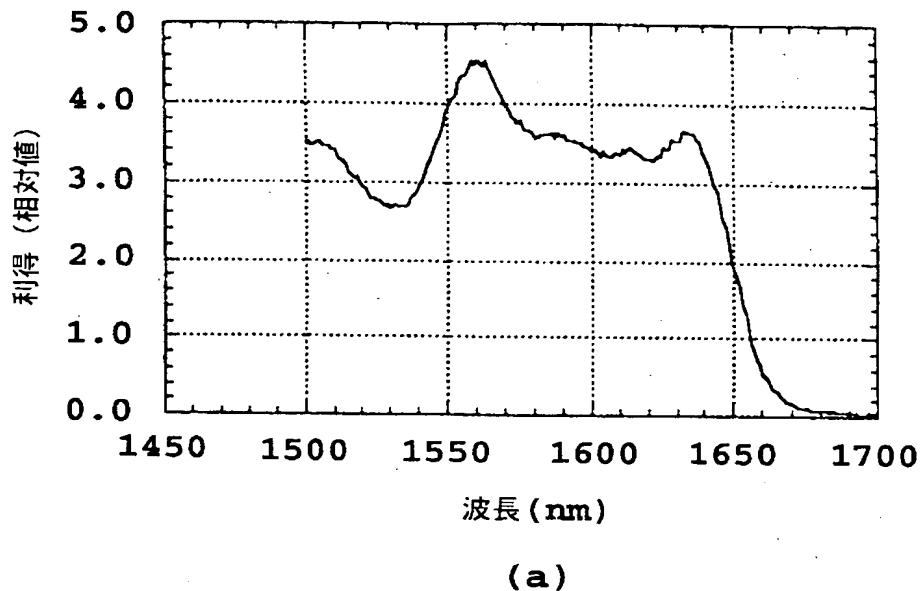


(b)

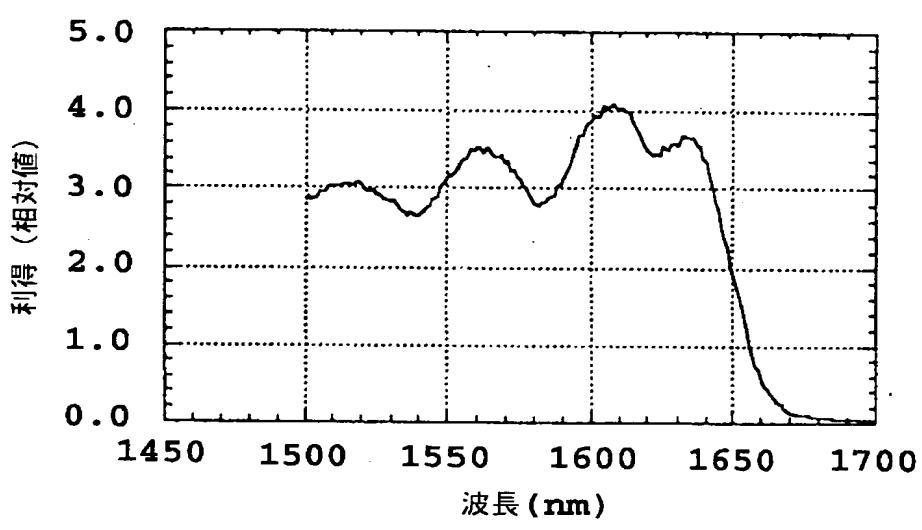
【図3】



【図4】

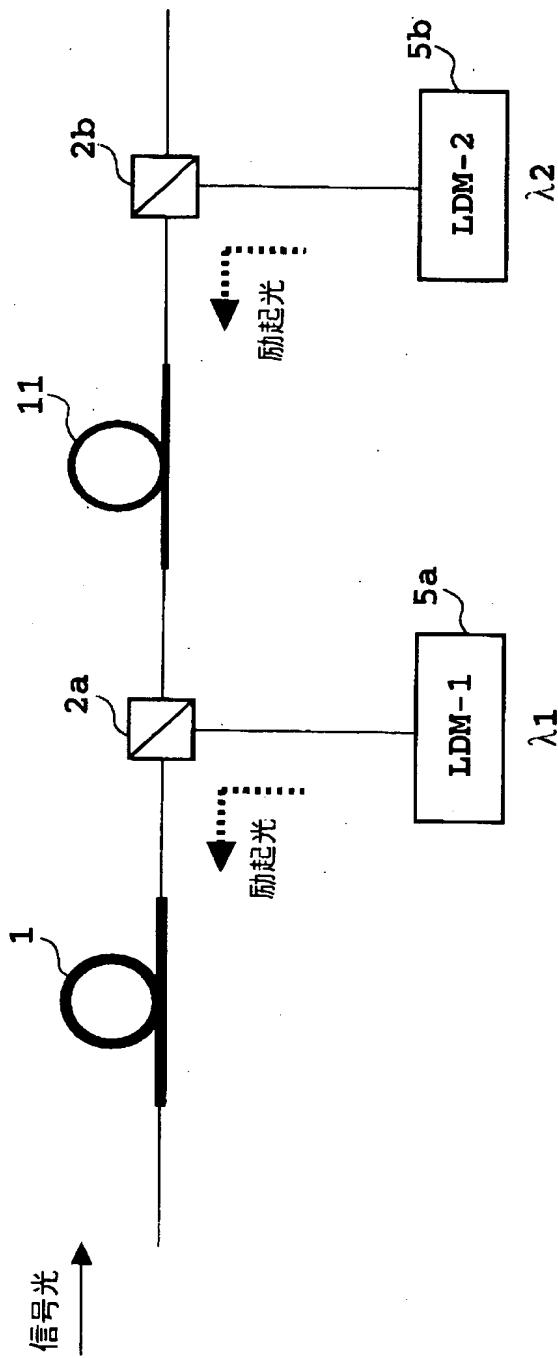


(a)

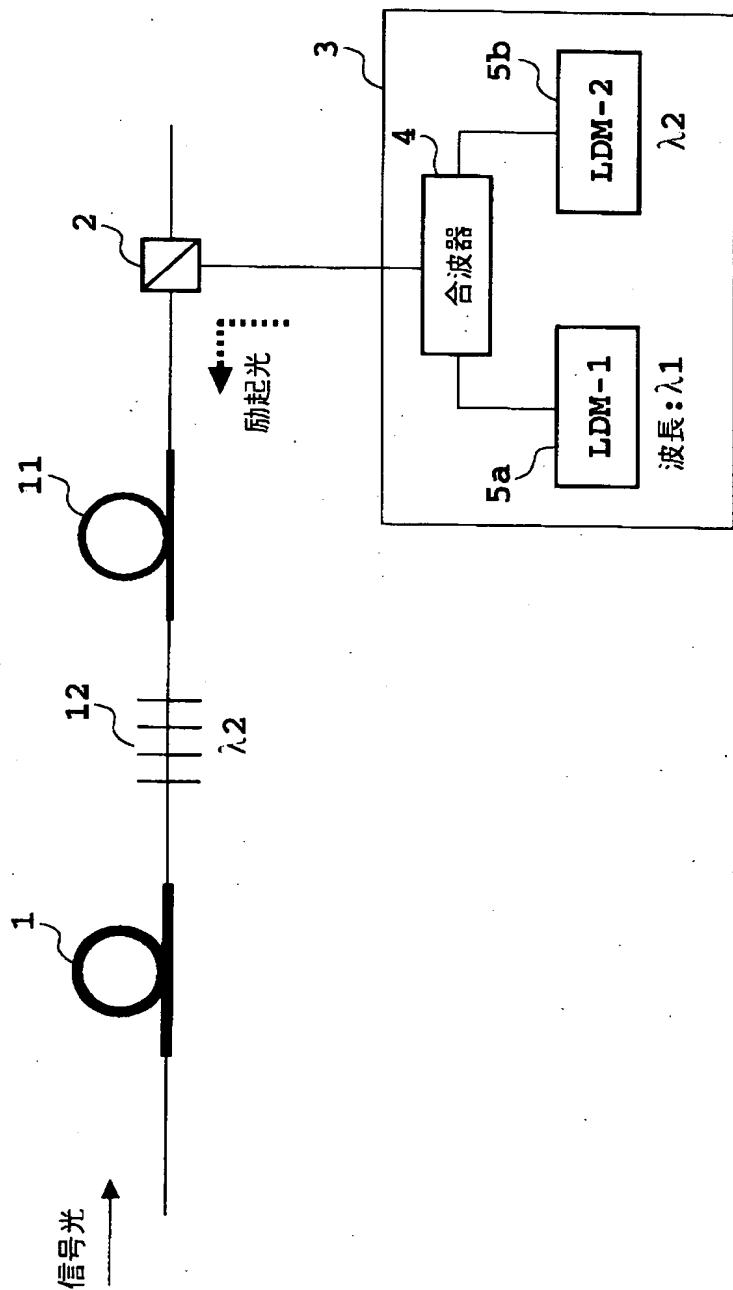


(b)

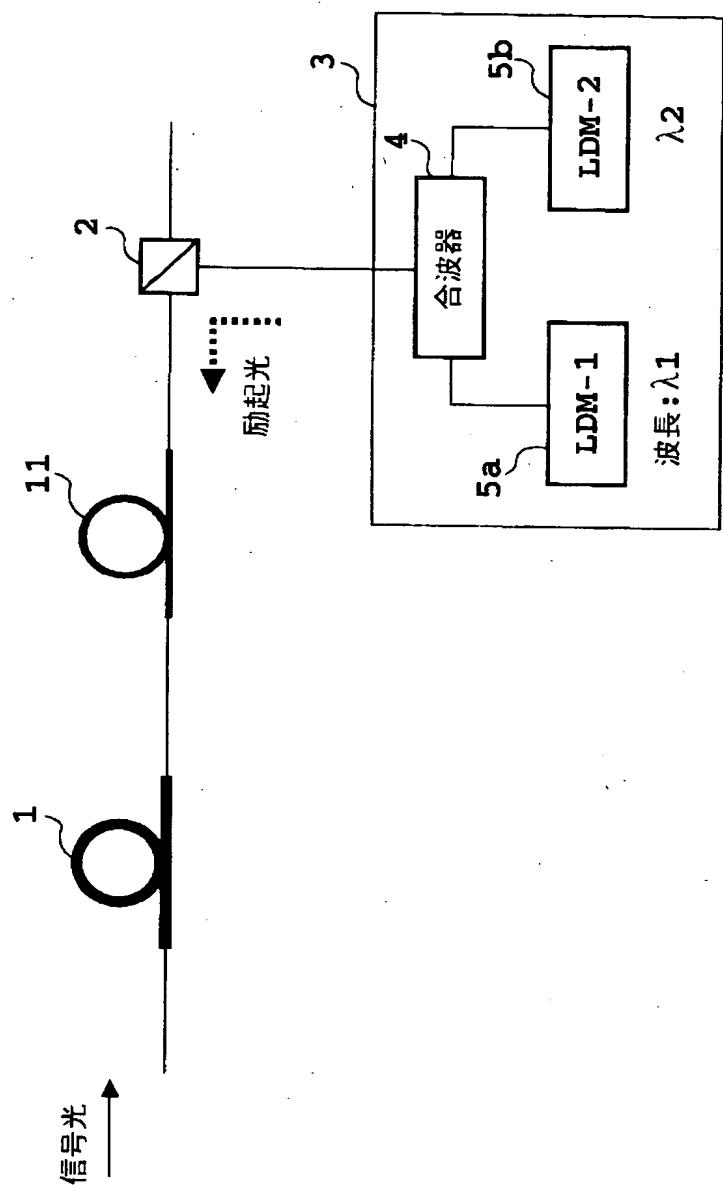
【図5】



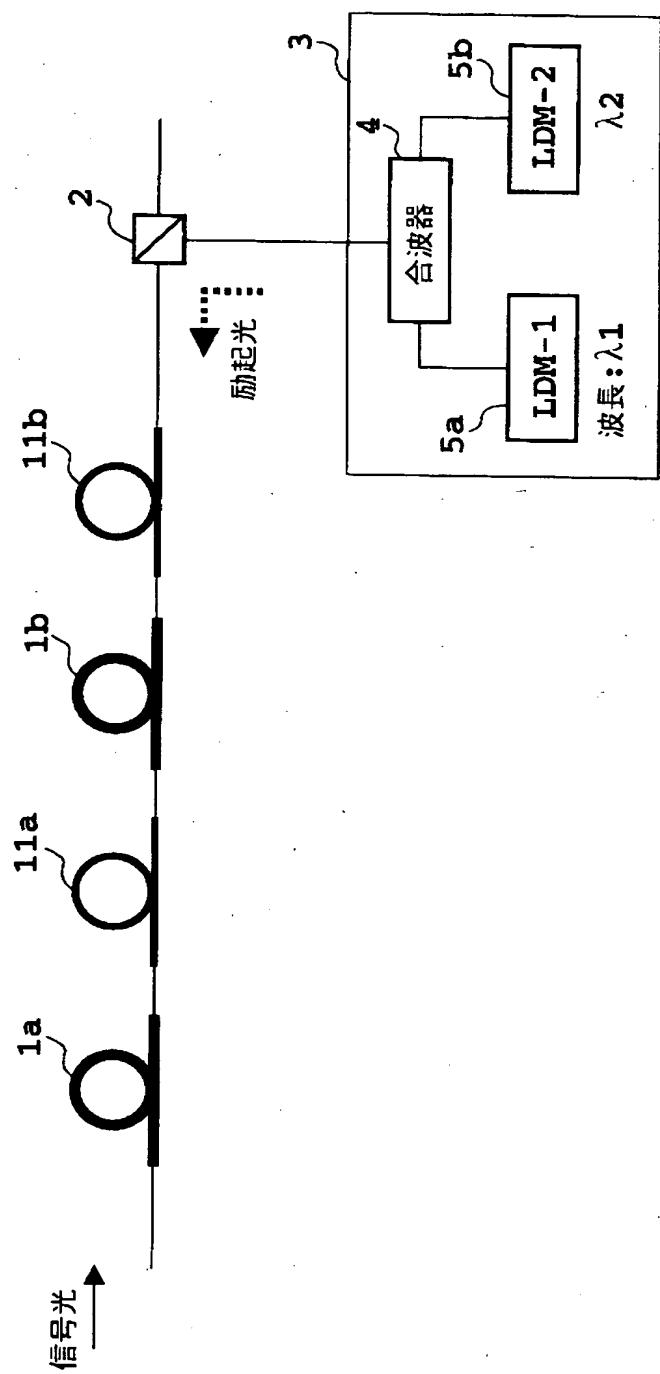
【図6】



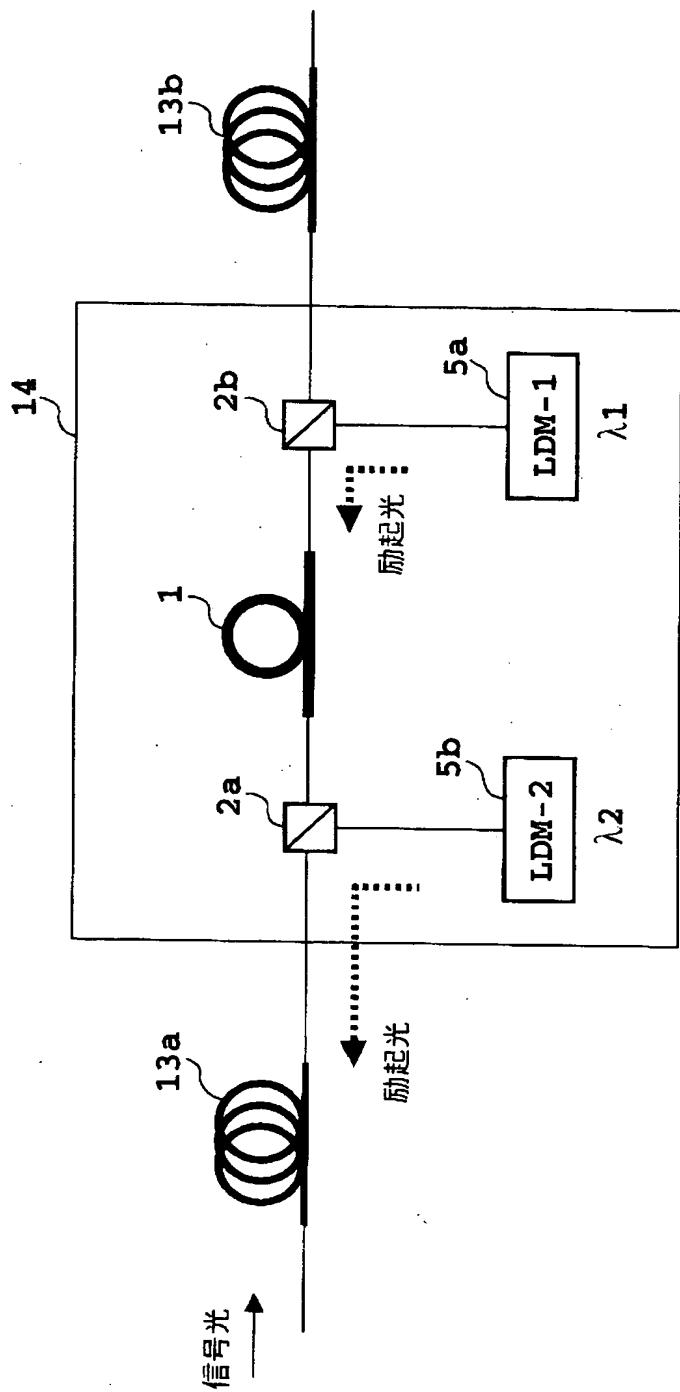
【図7】



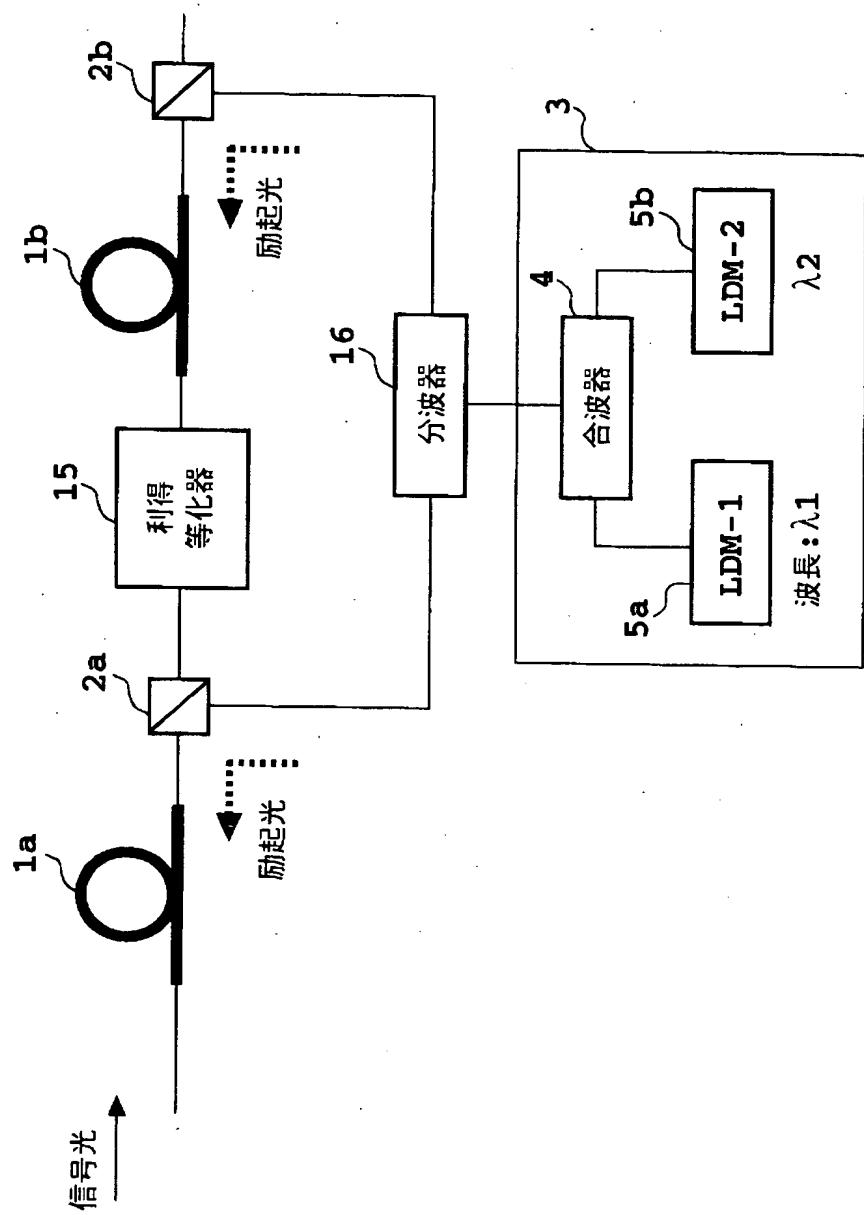
【図8】



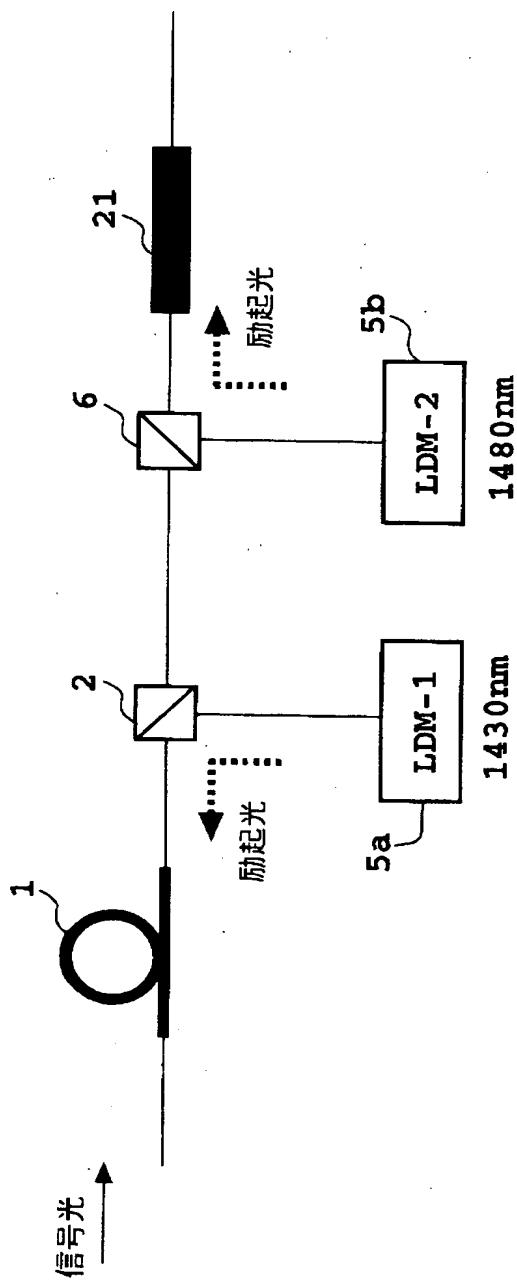
【図9】



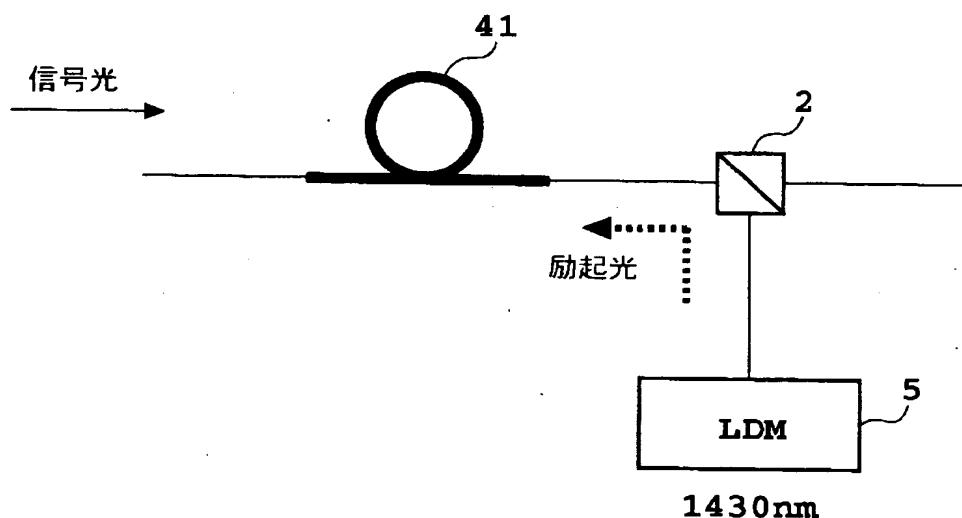
【図10】



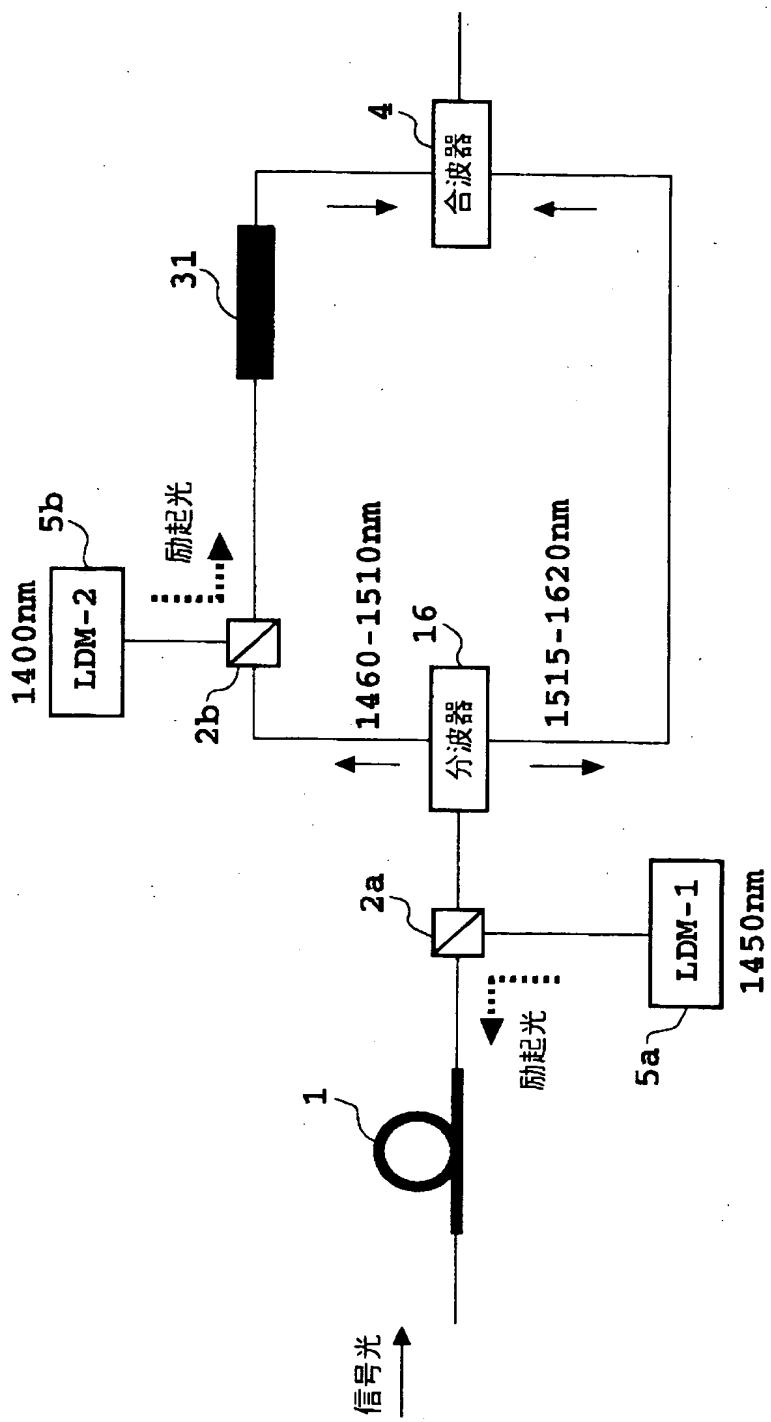
【図11】



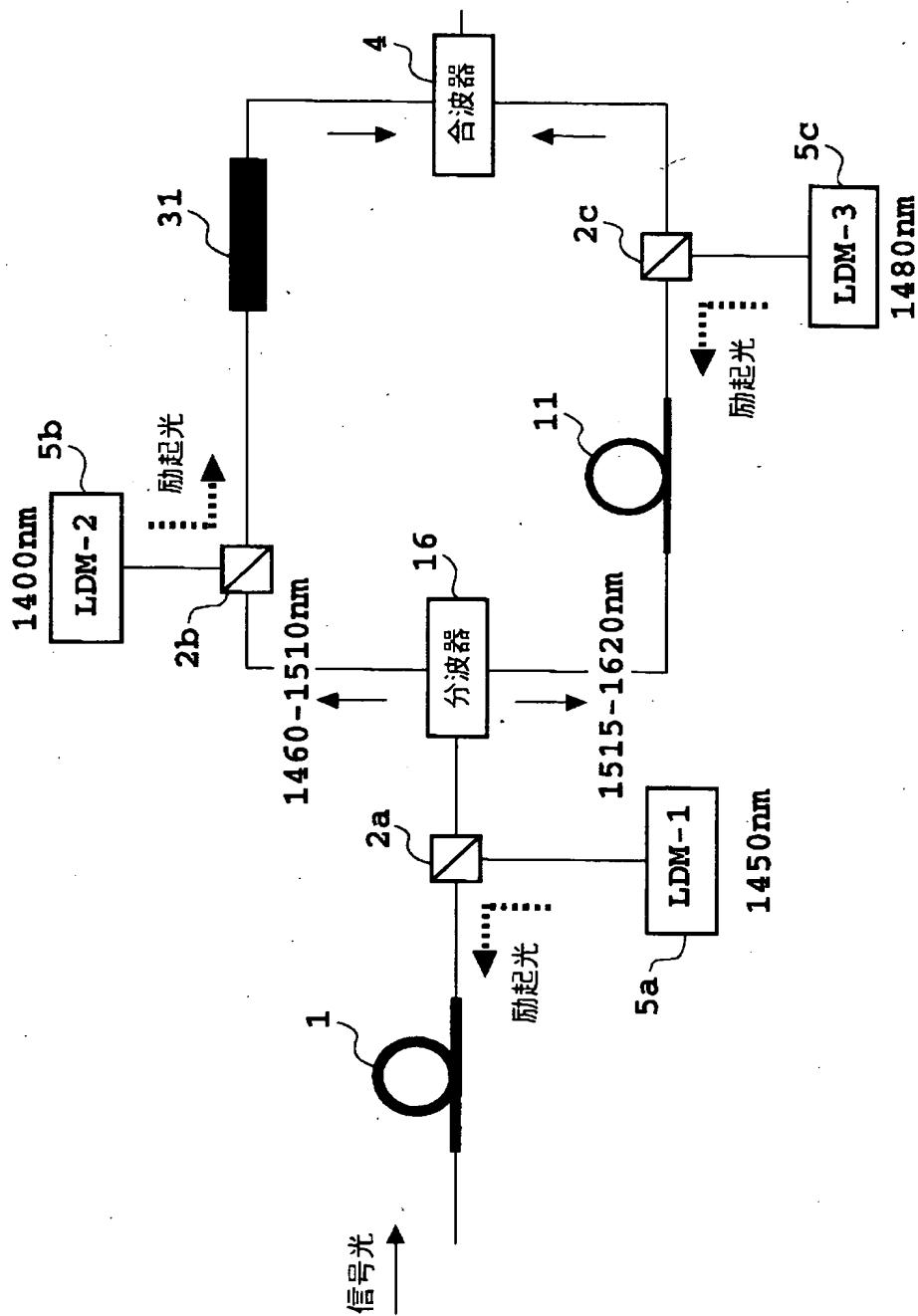
【図12】



【図13】



【図14】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 複数の利得スペクトルを組み合わせて重ね合わせることにより、広帯域で平坦な利得スペクトルを実現すること。

【解決手段】 利得媒質である光ファイバはテルライトファイバ1である。励起光源3は2つのレーザモジュール5a, 5bと1つの合波器4を有する。

2つのLDM5a, 5bをLDM-1および-2とし、それらの励起光波長をそれぞれ λ_1 および λ_2 とする。 λ_1 および λ_2 の差を約50nmに設定すると、 λ_1 の励起光による利得スペクトル成分と、 λ_2 の励起光による利得スペクトル成分を合成することにより、利得ピークとくぼみの合成により、平坦化された利得スペクトルが得られる。その波長差に対応した2つの励起光の波数差は約 $1.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$ （カイザー）である。

【選択図】 図3

出願人履歴情報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1999年 7月15日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏 名 日本電信電話株式会社